

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Варианты заданий

Вариант	$Z_0$ , МОм	$R_1$ , Ом	$I_A$ , мкА	Время коммутации, мс
1	1	30	6	1
2	2	25	8	3
3	1.5	40	7	2
4	1.7	35	5	1
5	1	20	7	4
6	2	30	5	1
7	1	25	8	3
8	2	40	7	2
9	1.5	35	5	1
10	1.7	20	6	4
11	1	30	8	1
12	2	25	7	3
13	1	40	5	2
14	2	35	7	1
15	1.5	20	5	4
16	1.7	30	7	1
17	1	20	5	3
18	2	40	8	2
19	1	30	7	1
20	2	20	5	4
21	1.5	30	6	1
22	2	20	7	3
23	1.5	40	5	2
24	1.7	30	6	1
25	1	20	8	4
26	2	30	7	1
27	1.3	25	5	3
28	1	40	6	2
29	2	35	8	1
30	1.3	20	7	4

\*Для всех вариантов  $C=1$  мкФ.

Министерство образования Российской Федерации  
Рыбинский государственный авиационный технический университет  
им. П.А. Соловьева

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ  
СОВМЕСТИМОСТЬ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Программа дисциплины и методические  
указания к выполнению контрольной работы

Рыбинск  
2014

Электромашинная совместимость в электроэнергетике.  
 Программа дисциплины и методические указания к выполнению  
 контрольной работы / сост. А.В. Юдин, РГАТУ им. П.А. Соловьева -  
 Рыбинск, 2014 – 8 с. - (Заочная форма обучения / РГАТУ им. П.А.  
 Соловьева).

Листинг программ для анализа

Данные программа и методические указания предназначены для  
 самостоятельного изучения дисциплины и выполнения контрольной работы  
 студентами по профилю «Электронные и электронные аппараты»  
 направления 140400 «Электротехника и электротехника».

#### СОСТАВИТЕЛЬ

д.т.н. А.В. Юдин

#### ОБСУЖДЕНО

на заседании кафедры  
 электротехники и промышленной электроники

#### РЕКОМЕНДОВАНО

Методическим Советом РГАТУ им. П.А. Соловьева

```
%учет м
T=20e-3;
TM=20e-3;
Z=0;%амплитуда НК
Y=220*1.44;%амплитуда РК
X=2e-3;
t= linspace(0,T,256);
U=uvr(Z,Y,X,T,TM);
FS=abs(2*fft(U))/size(U,2);
KG=100*sqrt(sum(FS(3:20).^2))/sqrt(sum(FS(1:20).^2));
subplot(2,1,1);
plot(t,U);grid;
subplot(2,1,2);
F=(1:19)*50;
stem(F,FS(2:20));
grid;
title('ym2str(KG));

%fft м
function K=fft(F,A,L);
L1=L;
L2=L;
C=1e-6;
RN=30;
LN=8e-6;
ZS=RN+j*2*pi*F*LN;
ZQ=1e-3;
Z1=j*2*pi*F*L1;
Z2=j*2*pi*F*L2;
Z0=1/(j*2*pi*F*C);
M=[ZQ+Z1+Z0 -Z0
-Z0 Z0+Z2+ZS];
I=inv(M)*[A;0];
US=abs((I(2)*ZS));
K=US/A;
```

## ВВЕДЕНИЕ

Специалист в области энергетического и электротехнического оборудования в процессе своей деятельности должен учитывать воздействие технических устройств друг на друга. В учебной дисциплине "Электромагнитная совместимость в электроэнергетике" студенты знакомятся с требованиями к электромагнитной совместимости, мерами по ее обеспечению.

Изучение дисциплины рассчитано на 180 часов учебных занятий, из них аудиторных 12 - часов, самостоятельная работа 168- час. Учебным планом предусмотрено выполнение одной контрольной работы. Дисциплина изучается в шестом семестре, форма контроля - экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

1. Электромагнитная совместимость. Электромагнитные влияния. Представление периодических функций времени в частотной области. Ряд Фурье.
2. Источники электромагнитных помех. Классификация источников помех.
3. Пассивные помехоподавляющие и защитные компоненты. Фильтры. Принцип действия. Фильтровые элементы. Сетевые фильтры. Ограничители перенапряжений. Принцип действия
- Экранирование. Принцип действия экранов. Материалы для изготовления экранов. Экранирование приборов и помещений. Экраны кабелей.
4. Определение электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебный материал дисциплины достаточно полно изложен в книгах списка основной литературы. Дополнительная литература рекомендуется с целью более глубокой проработки отдельных разделов программы для лучшего освоения материала.

Изучение дисциплины рекомендуется проводить последовательно в порядке перечисления разделов рабочей программы.

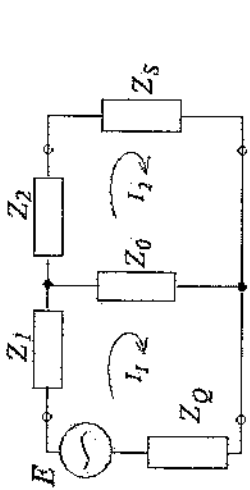


Рисунок 3. Схема замещения Т-образного фильтра

Схема замещения, изображенная на рис. 3 при использовании метода контурных токов может быть описана системой уравнений:

$$\begin{cases} I_1(Z_0 + Z_1 + Z_2) - I_2 Z_0 = E \\ -I_2 Z_0 + I_2(Z_0 + Z_2 + Z_S) = 0 \end{cases}$$

Для решения этой системы в среде Matlab его можно представить в матричной форме

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \text{inv}(M) \begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ где } M = \begin{bmatrix} Z_0 + Z_1 + Z_2 & -Z_0 \\ -Z_0 & Z_0 + Z_2 + Z_S \end{bmatrix}.$$

Комплексные сопротивления, входящие в состав матрицы  $M$ , определяются в соответствии с вариантом задания, а именно:  $Z_0$  - сопротивление источника (по варианту),  $Z_1 = R_1 + j2\pi fL_1$  - сопротивление нагрузки,  $Z_2 = j2\pi fL_2$  и  $Z_3 = j2\pi fL_3$  - сопротивление «горизонтальных плеч» фильтра (дроссели),  $Z_4 = 1/j2\pi fC$  - сопротивление «вертикального плеча» фильтра (конденсатор),  $F$  - частота на которой производится расчет.

Зная ток во втором контуре можно найти напряжение на выходе фильтра  $U_2 = I_2 * Z_S$ . Результатом анализа работы фильтра является его коэффициент передачи, определяемый как отношение напряжения на нагрузке на заданной частоте к амплитуде спектральной составляющей:  $K = U_2 / A$ . Текст функции `tfplot` приведен в приложении 1.

На первом этапе производится расчет коэффициента передачи фильтра на частоте первой  $K_1$  и третьей  $K_3$  гармоник используя модель, полученную на втором этапе. Кроме того, рассчитывается коэффициент гармонической составляющей напряжения для третьей гармоники после прохождения гармоник с амплитудами  $A_1$  и  $A_3$  через фильтр:  $K_{3,rel} = (K_3 * A_3) / (K_1 * A_1)$ .

Целью контрольной работы является подбор индуктивности  $L$  таким образом, чтобы коэффициент гармонической составляющей напряжения для третьей гармоники не превышал 5%. При этом следует стремиться не уменьшать  $K_1$  так как это приводит к дополнительным потерям.

## Литература

1. **Вагин, Г.Я.** Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Я.Вагин, А.Б.Лоскутов, А.А.Севостьянов. — 2-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 224 с.
2. **Юдин, А.В.** Научно-технические расчеты на ПЭВМ [учебное пособие]/А.В. Юдин, С.Э. Седлецкая// РГПУ им. П.А. Соловьева, – Рыбинск, 2011 г.

Электромагнитная совместимость технических средств; ЭМС технических средств: способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

*Ряд Фурье* – бесконечная сумма гармонических составляющих: постоянной составляющей  $d_0$ , основной гармоники с частотой  $\omega_1$  и высших гармонических составляющих, частоты которых кратны основной частоте.

Каждая гармоника характеризуется амплитудой  $A_{km}$ , начальной фазой  $\alpha_k$  и частотой  $\omega_k = k\omega_1$ , где  $k = 1, 2, 3, \dots$  – порядковый номер гармоники.

*Быстрое преобразование Фурье* (БПФ) – это быстрый алгоритм вычисления дискретного преобразования Фурье.

Фильтром называется устройство, устанавливаемое между выводами электрической цепи с целью изменения соотношения между частотными составляющими спектра проходящего через него сигнала.

Для выполнения БПФ в MATLAB используется функция  $fft$ :

$$Y = fft(X).$$

Функция  $Y = fft(X)$  вычисляет для массива данных  $X$  дискретное преобразование Фурье, используя FFT-алгоритм быстрого Фурье-преобразования.

Для перевода в спектр в общепринятом смысле отбрасывают правую половину спектрограммы, а амплитуды в левой части умножают на 2 за исключением первого элемента который не имеет зеркального отражения и представляет собой величину постоянной составляющей. Кроме того, нормируют все амплитуды гармоник разделив их на число выходов сигнала.

Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общему назначению регламентируются ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия». «Оместимость технических средств электромагнитная». Несовместимость напряжения оценивается коэффициентом гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка  $KU(n)$  в процентах напряжения основной гармонической составляющей.

$$KU(n)\% = \frac{U_{n\text{ord}}}{U_{1\text{ord}}} \cdot 100$$

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Тема контрольной работы: «АНАЛИЗ РАБОТЫ Т-ОБРАЗНОГО ФИЛЬТРА ГАРМОНИК»

*На первом этапе* нужно получить спектральный состав напряжения, соответствующий работе тиристорного регулятора с фазовым управлением с заданным моментом коммутации тиристора. Для этого нужно запустить программу *uvlregl* в среде Matlab, задав время коммутации  $X$  в соответствии с вариантом задания.

Результатом работы являются графики, отображающие форму сигнала и его спектр (рис.1). Для дальнейшего анализа требуется определить амплитуду первой  $A_1$  и третьей  $A_3$  в спектре сигнала.

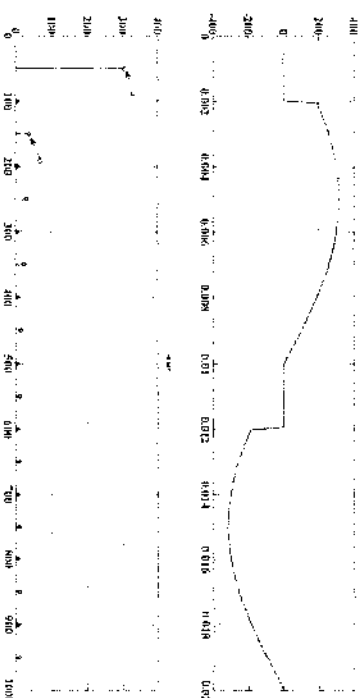


Рисунок 1. Форма и спектр напряжения для момента коммутации 2 мс

Для работы программы нужны дополнительные функции *uvl* и *srpl*, текст которых приведен в приложении 1.

*На втором этапе* необходимо построить модель Т-образного фильтра, схема которого изображена на рис.2.

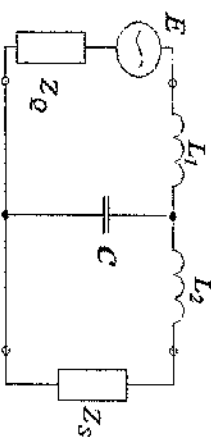


Рисунок 2. Схема Т-образного фильтра